

スマートメンテナンスの取り組み状況について

Status of initiatives for Smart-maintenance

穴見 徹広*1

Tetsuhiro ANAMI

Research and Development in Technical Center



1. はじめに

テクニカルセンターは1991年4月発足以来27年余りに亘り、JR東日本のメンテナンス業務の革新に向けた研究開発や現場支援業務を担っている研究所です。

人口減少時代、特に生産年齢人口の減少が2035年には20%、2040年には30%減少と加速度的に進むと言われる中、世の中の多くの産業で生産性向上の取り組みがなされています。弊社のメンテナンス部門でも労働環境の厳しさも相まって従事員を確保していくことが厳しくなっています(図1)。また、保有線区の大半が戦前に開業しており、運用されている設備の老朽化による保守量の増加も顕在化してきています(図2)。こうした状況の中、膨大なインフラを維持し最大限のパフォーマンスを発揮させるために、如何に効率的で生産性や質の高い保守を実現し、合わせて設備の安全性・信頼性を向上していくかが強く求められています。

この要請に応えるべく、具体的には、昨今のIoT、センサー技術、ビッグデータ解析技術、AIといった分野の技術進展を導入しメンテナンス体系、方式を大きく転換するスマートメンテナンス構想の実現に向けた取り組みを進めています。また、設備更新時期を睨みながら設備毎の運用環境により適した「設備構造の強化、簡素化などによる省メンテナンス構造化」を進める、或いは、先進の技術を導入して「作業の機械化、ロボット化による省力化、脱特殊技能化」を更に推進するといった取り組みも合わせて進めています。本稿では、我々のスマートメンテナンス構想実現に向けた取り組みの進捗状況について概要を紹介します。

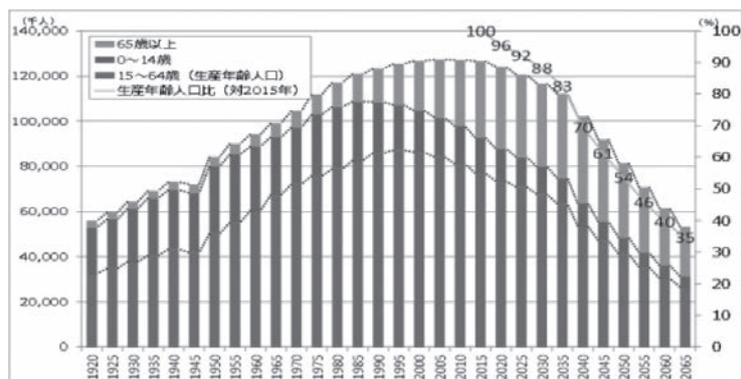


図1 生産年齢人口の推移

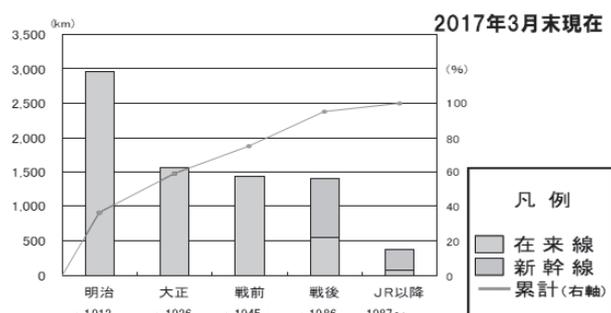


図2 各線区の開業時期

*1JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 所長

2. JR東日本のメンテナンスの現状

JR東日本の特徴のひとつとして、世界的に見ても営業キロに対する輸送人キロ或は輸送人員が圧倒的に多いということが挙げられます。このことは、設備管理の面から見ると、設備への負荷が非常に高く、過酷な供用状態にあるといえます。また、車両、設備などのトラブルが発生すると非常に多くのお客様にご迷惑をおかけすることにもなるので、膨大で多様な設備をメンテナンスにより安全で安定的に稼働させることは我々の最優先課題の一つであります。我々のメンテナンスは、体系、手法ともに鉄道150年弱の経験と技術の中から築き上げられてきたものですが、現在急速に進展している最新技術などを取り込むことで、より一層効率的で信頼性の高いものに変革できる可能性を多く秘めていると考えています。以下に、スマートメンテナンス構想において変革を進めようとしている弊社メンテナンスの現状、特徴を紹介します。

一つ目は、「データ取得」(検査)ですが、人が診たり、測ったり、判別したりということで非常に非効率かつ検査品質が人に依存する部分も少なくありません。例えば、地上設備のうち、沿線に連続して張り巡らされている設備(延長系設備)の代表である線路は全体で約3万km保有していますが、一定周期で人が歩いて状態確認をしています。一方で、沿線の要所に点在している設備(点在系設備)の代表である列車用の信号機は約14,000基ありますが、これらの点検作業の7~8割は設備までの移動に費やしています。また、列車運行以外の時間でメンテナンス関係の仕事を行うことが多いため、夜間作業の割合は約80%(国内産業の平均は数%程度)となっています。車両については、約12,000両程度保有しておりますが、毎日約20%に当たる約2,500両を一定時間営業列車としての運用から外して検査を行っています。このように検査を非効率かつ労働集約的に実施していることから、一定周期でしか検査が出来ない状況です。

二つ目は、検査で取得したデータの「分析」「意思決定」が非常に画一的ということです。一つ目の特徴から一定周期で検査を行っている結果として、将来の設備状態を精度良く予測することが難しいことから、設備個々の状態に関係無く、メーカーなどの使用保障基準や安全基準などに対して大きな余裕を見込んだ画一的な保守基準値を設定しています。そのため、場合によっては過剰な管理・補修をせざるを得なかったり、定期修繕を選択せざるを得ない状況です。合わせて、故障の予兆管理もベテランの経験や勘などに依存するところが少なからずあるという状況です。

三つ目は、「施工」場面で、ベテランの経験や勘に依存して補修方法などを選定しているということです。結果として、補修効果も意思決定者に左右されることもあります。急速に世代交代が進んでいる中で、データに基づく経験知の定量化、可視化を進めていく必要があります。

3. スマートメンテナンスとは

以上のような現状を変革すべく取り組んでいるスマートメンテナンスについて概要を紹介します。

一般的なメンテナンスは図3に示すように、検査の実施による「データ取得」に始まり、「分析」、修繕のための「意思決定」、「施工」、施工結果の「評価」というPDCAサイクルを繰り返し回すことで行うことになります。

弊社では既出のように、非効率な検査、画一的な保守の意思決定などによって検査から検査までの一定期間の安全・安定を担保しなければならない、いわばTBM(時間基準保全)を採用せざるを得ませんでした。しかし、先端のIoT、センシング技術などを活用することで、データ収集の段階で「高頻度」或いは「リアルタイム」にデータを収集することが出来れば、今その場で取得した設備状態、検査データをもとに、ジャストタイムで適切な設備管理が可能になります。また、大量に得た検査などのデータを蓄積し、ビッグデータ解析やAI技術などに活用して分析することで、精度の高い将来予測などにに基づき設備ごとに状態を把握、吟味して、最適な時期に最適な保守を投入することや、故障の予兆管理も可能となります。いわば、TBM(時間基準保全)からCBM(状態基準保全)へ移行することが出来るようになります。つまり、スマートメンテナンスでは、IoTやビッグデータ解析、AIなどの技術を駆使し、メンテナンスのPDCAサイクルの中にCBMの概念を導入して、安全で信頼性の高い設備、効率的でLCC最適な保守を実現していくことをめざしています。

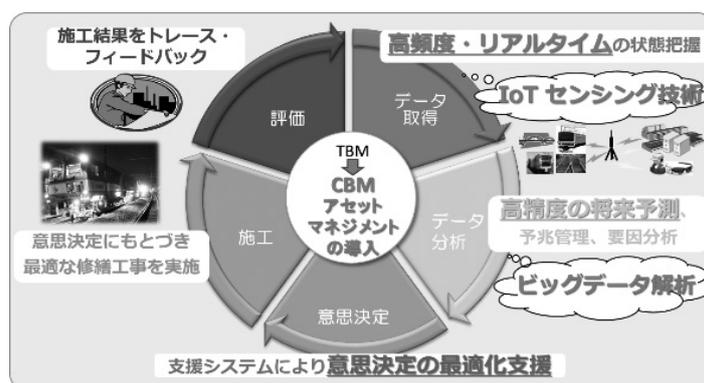


図3 メンテナンスサイクルとスマートメンテナンスのイメージ

3・1 車両関係スマートメンテナンスの概要

車両のメンテナンスでは、基本的に決められた周期毎に営業列車の運用から外れて検査・修繕を行うTBMの体制でした。今後、「車上モニタリング」では営業運転中に常時車両内部の機器など状態を把握したり、「地上モニタリング」では、特定の場所に検測機器などを設置して列車が通過する度に外観などの状態を把握することで、車上・地上ともに取得したデータを保守区所に送り、最適なタイミングでの保守投入や故障予兆の把握、故障時のダウンタイム縮減などを進める、いわゆるCBMの体制に移行していくことを考えています(図4)。

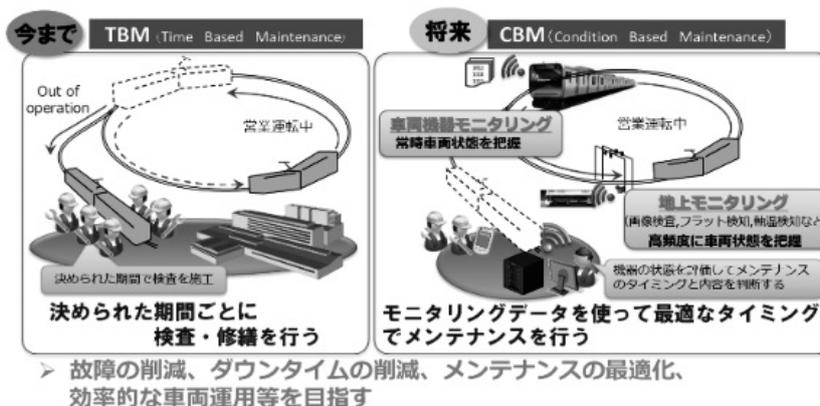


図4 車両関係スマートメンテナンスのイメージ

3・2 地上設備のスマートメンテナンスの概要

地上設備のメンテナンスでも考え方は同様ですが、人や専用車による一定周期での検査・修繕から、検測機器を搭載した営業車が設備を通過する度に設備状態を高頻度に把握する「車上モニタリング」と、地上設備そのものにセンサーを配置して常時設備の状態を把握する「地上モニタリング」を組合せ、取得したデータはメンテナンス職場に送信して、個々の設備毎に安全安定稼働やLCC最適化に資する、CBMの体制に移行していくことを考えています(図5)。

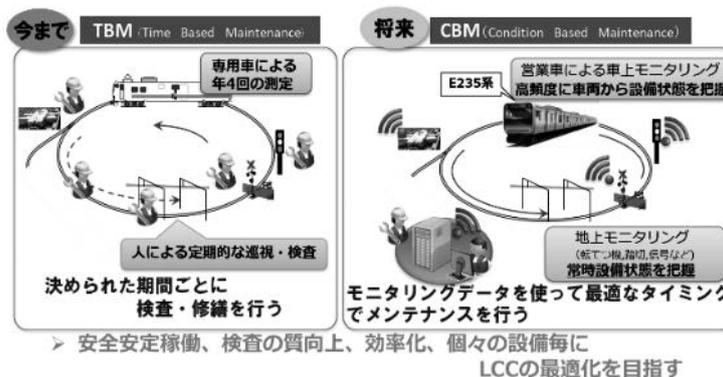


図5 地上設備関係スマートメンテナンスのイメージ

4. スマートメンテナンスの実現に向けた開発状況

これまでスマートメンテナンスの必要性、概念について述べてきましたが、ここからは具体的な取り組みについて簡単に紹介します。

4・1 データの取得に関する取り組み

4・1・1 車両関係モニタリング

山手線に順次導入が進められている新型のE235系車両では、「車両モニタリング装置」を搭載し、ドア装置、空調、主回路機器など計17機種について、電流値、温度、圧力、動作時間など取得可能な物理量約700項目、6000点のデータを走行中に常時モニタリングし、リアルタイムでメンテナンス職場に情報伝送、異常の把握やメンテナンスの計画、意思決定に活用しています。

また、地上に設置した監視装置で車両通過時に地上からモニタリングする取り組みとして、「車両外観検査装置」「パンタグラフすり板形状測定装置」(図6)を一部メンテナンス職場で試行しています。外観検査装置はラインセンサーカメラ、すり板形状測定装置はステレオカメラを使用しており、外観上の傷、ボルトの緩み、コックの開閉状態、パンタグラフの摩耗などを、従来人が見ていた時より、高頻度且つ効率的に、安定した品質でのチェックが可能となります。

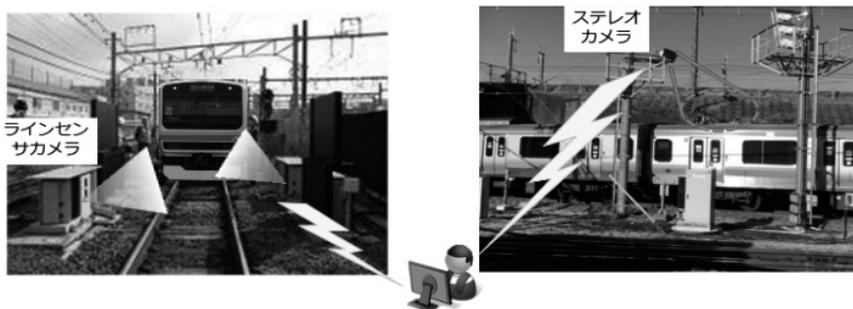


図6 車両外観検査装置及びすり板形状測定装置

4・1・2 地上設備モニタリング

E235系車両などの一部の営業車両には、床下や屋根上に「線路設備モニタリング装置」「電力設備モニタリング装置」(図7)の搭載が進められており、軌道変位の情報や、締結装置の状態、架線の摩耗や高さなどの情報をラインセンサーカメラやレーザーなどを使用して線路方向に数センチ、数十センチピッチで収録して、メンテナンス職場に送付して、設備状態監視や補修計画に活用しています。ただし、線路の画像データは、例えば山手線一周で約160GB程度になりますので、移動しながらリアルタイムに送信できていないのが現状です。

また、点在系地上設備(信号機器、分岐器転てつ機、踏切、変電所内設備等)については、その設備に電流、電圧、温度、ひずみなどの必要な物理量を取得するためのセンサーを配置してデータを取得し、沿線に設備されている光回線や無線などを活用してメンテナンス職場へ伝送集約することで、移動ロスなどの非効率解消、各設備に設備の状態を常時監視、故障予兆の把握などに活用するための開発を進めています(図8)。



図7 E235系車上モニタリング装置

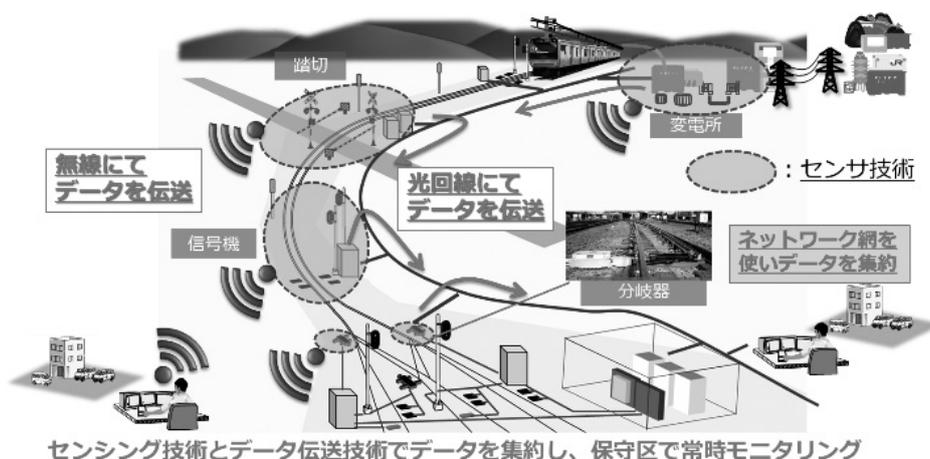


図8 点在系地上設備のモニタリング

4・2 データ利活用に関する取り組み (分析、意思決定)

今まで述べたとおり、データ取得の部分についてはいくつかの具体的な取り組みが実行に移され、高頻度に或は常時設備状態を大量のデータとして取得することが可能になってきています。しかし、取得するだけでは宝の持ち腐れですのでデータのもつ価値を具現化するために、自動診断や設備状態の将来予測などの手法の研究開発を鋭意進めているところです。

4・2・1 車両関係のデータ利活用の取り組み

ドア装置については、試験台による異常模擬試験データを活用し、ドアの開閉の過程でのドア位置、開閉開始からの時間、電流値などのデータから、ドア開閉検知スイッチの動作不具合やドア開閉機構の建付状態及び動作抵抗増加等の予兆検出可能性を確認できています。また空調などの他の機器については、異常模擬試験データを活用した故障予兆のみならず、多種多量の時系列データから系全体のデータのバランスの変化を検知して故障予兆を把握するなどのトライアルを進めています。

車両の外観検査装置の画像データについては、列車の上下振動、速度の変化などによる画像の伸縮を補正した後で、過去の正常状態画像と撮影画像とを比較して異常判定を行うことが可能になっています。また、パンタグラフすり板形状測定装置のステレオ画像データについても、3次元座標に落とし込むことで、従来よりも高い精度で摩耗量や欠けを自動判定可能になっています。また、これらの機器は異常判定した際にも現車に出動することなく、監視端末上の画像により確認が可能となっています。

いずれも大量に取得した画像データのクレンジングには苦勞していますが、膨大な検査の効率化、人に依存しない高品質な検査の実現、自動診断、設備毎の故障予兆管理などに活用していくべく取り組みを進めています。

4・2・2 地上設備関係のデータ利活用の取り組み

地上設備関係のデータ活用事例を数例紹介します。

線路モニタリング装置の軌道変位データから個別地点毎に将来を予測し、予算、効果、修繕機械の運用などの条件と組み合わせることで修繕計画を提案する意思決定支援システムのプロトタイプの開発を進めています。今後、軌道変位、補修実績などを積み重ねて学習させることで、更にLCC最適な保守計画を提案できるシステムをめざしています。また、短期的に急進して安全安定を損ねる可能性のある軌道変位についても予測してタイムリーに保守提案する仕組みについても開発を進めています。さらに、線路補修機械であるマルチプルタイタンパー (MTT) の施工データ (線路補修量、タンピング回数、時間、深さなど) と軌道変位データ (施工前後の改善度、改善状態の持続度) を組み合わせることで、ベテランに依存しないでLCCの観点から最適なMTTのオペレーション方法の提案を行う仕組みの開発にも着手しています (図9)。

線路材料の画像や高さ (標高) のデータからは、締結装置の脱落や緩みの状態を自動判定することが可能になっています。さらに、信号送着ボンドの脱落や素線切れの状況についても画像処理やパターンマッチングなどの技術を適用することで自動診断が可能になってきています。

電力設備モニタリング装置のデータからは、摩耗進みの予測や急激な摩耗進展の原因を推定する仕組みの開発を進めています。これにより摩耗進展原因の除去による架線摩耗抑制や非効率な一律定期交換からの脱却をめざしています。

分岐器の転てつ機にセンサーを設置して機能状態を常時センシングしているデータからは、統計的な手法と機械学習を応用して、モーターの転換トルク値と転換ストロークを組合せの平常時からの変化を診断することで、転換機能が健全であるかどうか、不健全な予兆がないかを診断することが可能になってきています。

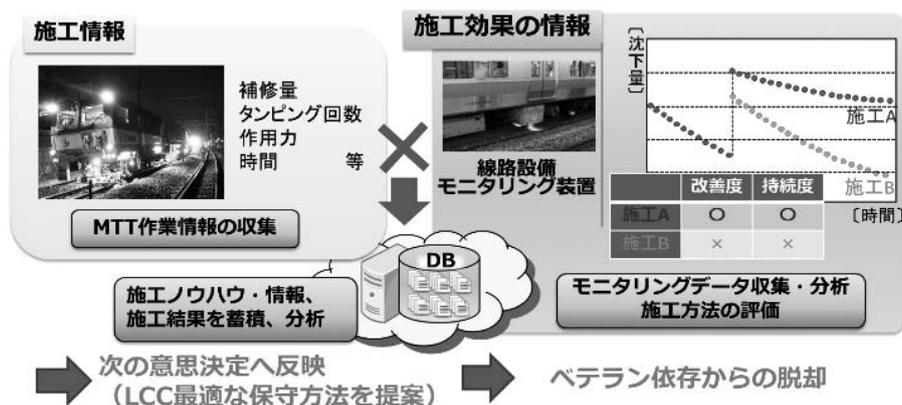


図9 MTT施工支援の取り組みイメージ

5. 今後の取り組み

弊社のスマートメンテナンス構想は途上にあります。現状としては、既述のとおり、メンテナンスのサイクル全体のうち「データの取得」の部分が先行して進んでいます。また、一部、「データ分析」「意思決定」或は「施工」「評価」に繋がるようなデータ利活用の取り組みも少しずつなされてきています。今後は、データの継続的な蓄積や蓄積対象・手法の拡充を引き続き進め、設備を適時・効率的・網羅的に把握可能にしていきたいと考えています。

また、最も重要となる取得したデータの利活用については、更なる高度化により自動判定や将来予測、予兆管理などの信頼度向上を図り、効率的で信頼度の高い分析・診断或は意思決定で設備の安定稼働を実現するとともに、系統間の垣根を超えて鉄道を構成する設備全体（周辺環境を含めて）の様々な時系列データや諸元データの関係性を把握可能とすることで、今まで同様に系統毎に管理しては実現出来ない新たなデータの利活用の可能性、価値を発掘して行きたいと考えています。更に、従事員確保がより厳しくなることが想定される「施工」の部分についても、ベテランの経験に基づく判断や専門的技術・技能などに依存してきた部分を見える化して、システムで意思決定などの判断をサポートするといった観点からの施工関連データや設備データ（時系列、諸元）の利活用が重要な取り組みの一つとなると考えています。

6. おわりに

ICT技術の急速な発展、生産年齢人口の急激な減少に代表されるように、鉄道を取り巻く環境は目まぐるしく変化しています。それらに柔軟に対応して、鉄道という重要なインフラを持続的に維持、発展させていくためには、メンテナンスの革新が必要不可欠です。我々は、オープンイノベーションで世の中の先進的な技術を積極的に求めるとともに、ユーザーニーズ主導でスピード感をもって、新たな仕組みの開発、実務への展開を進めてまいります。関係の方々の引き続きの御指導、御支援をよろしくお願い致します。